

REC'D 19 AUG 2004

日本国特許庁

PCT

03.08.2004

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 8月11日  
Date of Application:

出願番号 特願2003-291344  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2003-291344]

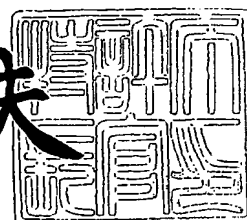
出願人 住友電気工業株式会社  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月21日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 103Y0242  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 C03B 37/018  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内  
    【氏名】 佐々木 隆  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内  
    【氏名】 平野 正晃  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内  
    【氏名】 横川 知行  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000002130  
    【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100099195  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 宮越 典明  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100116182  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 内藤 照雄  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 030889  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 0203456

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

外径が 20 mm 以上かつ 150 mm 以下であり、肉厚が 2 mm 以上かつ 8 mm 以下である、石英製の出発ガラスパイプの内側に、内付け法により、フッ素、ゲルマニウム、リン、塩素の何れかを含み、コア部となるガラス膜及びクラッド部となるガラス膜を堆積させる第 1 の工程と、

前記第 1 の工程で得られたガラスパイプをコラプス法により中実化してガラスロッドとする第 2 の工程を有し、

前記ガラスロッドの外表面から 1 mm 以内の範囲に存在する水酸基濃度を、10 重量 ppm 以下とすることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記ガラスロッドの外表面から 1 mm 以内の範囲に存在する水酸基濃度を、1 重量 ppm 以下とすることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 3】**

請求項 1 または 2 に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記出発ガラスパイプの偏肉率が全長に涉って 0.3 % 以下であることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 4】**

請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記第 1 の工程で堆積させるガラス膜の厚さの合計を 1 mm 以下とし、

前記出発ガラスパイプと、前記第 1 の工程で堆積されたガラス膜との厚さの合計を 8 mm 以下とすることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 5】**

請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記ガラスロッドは、前記コア部の楕円率が 0.4 % 以下であり、中心軸上に発生した気泡数が前記ガラスロッドの長さ方向 10 mm あたり 1 個以下であることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 6】**

請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記ガラスロッドは、前記内付け法により形成した部分の楕円率が 1.5 % 以下であり、中心軸上に発生した気泡数が前記ガラスロッドの長さ方向 10 mm あたり 1 個以下であることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 7】**

請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記出発ガラスパイプは、フッ素が添加された石英製のパイプであることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 8】**

請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記内付け法は、MCVD 法によって行い、そのときの前記ガラス膜を堆積させる速度は 0.4 g/分以上であることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 9】**

請求項 8 に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記ガラス膜を堆積させる速度は 1.0 g/分以上であることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 10】**

請求項 8 または 9 に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、

前記 MCVD 法を行う際に、加熱源として、誘導炉、抵抗炉、プラズマトーチの何れかを用いることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

**【請求項 11】**

請求項 1 から 10 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、  
前記コラプス法を行う際に、加熱源として、誘導炉、抵抗炉、プラズマトーチの何れかを用いることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 12】

請求項 1 から 11 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、  
前記コラプス法は、前記ガラスパイプの最初に中実化する箇所を加熱する第 1 加熱工程と、前記第 1 加熱工程にて加熱した箇所から前記ガラスパイプを長さ方向に涉って加熱していく第 2 加熱工程とを有し、  
前記第 1 加熱工程における前記ガラスパイプの表面温度  $T_1$  を、前記第 2 加熱工程における前記ガラスパイプの表面温度  $T_2$  より高温とすることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 13】

請求項 1 から 12 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、  
前記出発ガラスパイプの内径及び外径の楕円率が 1 % 以下であることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 14】

請求項 1 から 13 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法であって、  
前記出発ガラスパイプは、ガラス微粒子を堆積させてその後脱水焼結して作製したものであり、内部の残留水酸基が  $0.01$  重量 ppm 以下であることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 15】

請求項 1 から 14 の何れか 1 項に記載の光ファイバ母材の製造方法によって製造された光ファイバ母材に、線引き工程を施して、光ファイバを製造することを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 16】

請求項 15 に記載の光ファイバの製造方法であって、  
前記線引き工程は、前記ガラスロッドをジャケットパイプに挿入し、前記ガラスロッドと前記ジャケットパイプとを加熱して一体化させながら線引きすることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の光ファイバの製造方法であって、  
前記出発ガラスパイプ及び前記ジャケットパイプは、ガラス微粒子を堆積させてその後脱水焼結して作製したものであり、内部の残留水酸基が  $0.01$  重量 ppm 以下であることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 18】

請求項 15 から 17 の何れか 1 項に記載の光ファイバの製造方法を用いて製造されたことを特徴とする光ファイバ。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の光ファイバであって、  
偏波モード分散が、 $0.15 \text{ (ps/km}^{1/2})$  以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 20】

請求項 18 または 19 に記載の光ファイバであって、  
波長  $1.38 \mu\text{m}$  における水酸基による吸収損失が  $0.2 \text{ dB/km}$  以下であることを特徴とする光ファイバ。

## 【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ母材の製造方法、光ファイバの製造方法及び光ファイバ

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、石英製の出発ガラスパイプの内側に、内付け法により屈折率の異なる複数のガラス膜を堆積させた後、得られたガラスパイプをコラプス法により中実化してガラスロッドとする工程を有する光ファイバ母材の製造方法、この光ファイバ母材の製造方法によって製造された光ファイバ母材から光ファイバを製造する光ファイバの製造方法、及びこの光ファイバの製造方法により製造された光ファイバに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

光ファイバを用いた近年の光通信システムでは、大容量の伝送技術として波長分割多重(WDM)伝送が広く実用化されている。このWDM伝送では、使用する波長帯域内の波長分散差を小さく抑えて使用波長毎の伝送特性を均一化することが重要であることから、分散の波長依存性(分散スロープ)を厳密に調節することが強く望まれている。分散特性を調整した光ファイバとしては、分散シフト光ファイバ、ノンゼロ分散シフト光ファイバ、分散フラット光ファイバ、分散補償光ファイバ等が挙げられる。これらの光ファイバは、屈折率分布の極大点、極小点を複数個持つ複雑な構造を有している。

## 【0003】

このような光ファイバを製造する際に、所望の分散特性を良好に得るためには、光ファイバの断面構造を精密に形成することが重要である。光ファイバを製造するための光ファイバ母材の製造過程では、例えばMCVD(Modified Chemical Vapor Deposition)法等の内付け法が好適に用いられている。MCVD法は、種々の文献(例えば、非特許文献1参照)に開示されているように、高品質な光ファイバ母材を比較的容易に得やすいため、広く用いられている。

## 【0004】

また、MCVD法を用いて作製したガラスパイプをコラプス法により中実化して、ガラスロッド(プリフォームロッド)とし、これを外側のクラッド部分(オーバークラッド)と一体化させて線引きすることで、光ファイバを製造する方法が知られている(例えば、特許文献1参照)。

## 【0005】

【特許文献1】 米国特許第4820322号明細書

【非特許文献1】 「光ファイバ通信 国際版1991年(Optical Fiber Communications International Edition 1991)」, マクグロウヒル出版社(McGraw-Hill Book Co.), p. 66-67

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

ところで、分散特性を調整した光ファイバを良好な品質で得るためには、その製造過程においてガラスの中に水酸基(OH基)が侵入しないように留意することが重要である。上記したような分散特性を調整した光ファイバは、複雑な屈折率分布を形成するためにその製造工程が多く、ガラスの中にOH基が侵入しやすい状況にある。ファイバ中の光の導波領域にOH基が存在すると、光がOH基により吸収されてしまい、光ファイバの伝送損失が大きくなってしまう。

## 【0007】

本発明は、出発ガラスパイプの内側に屈折率の異なる複数のガラス膜を堆積させた後、得られたガラスパイプを中実化してガラスロッドとする工程を有する光ファイバ母材の製造方法につき、所望の屈折率分布を得るとともに水酸基による伝送損失の増加を抑制することのできる光ファイバ母材の製造方法、この光ファイバ母材の製造方法によって製造された光ファイバ母材から光ファイバを製造する光ファイバの製造方法、及びこの光ファイ

バの製造方法により製造された光ファイバを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成することのできる本発明に係る光ファイバ母材の製造方法は、外径が20mm以上かつ150mm以下であり、肉厚が2mm以上かつ8mm以下である、石英製の出発ガラスパイプの内側に、内付け法により、フッ素、ゲルマニウム、リン、塩素の何れかを含む、コア部となるガラス膜及びクラッド部となるガラス膜を堆積させる第1の工程と、第1の工程で得られたガラスパイプをコラプス法により中実化してガラスロッドとする第2の工程を有し、ガラスロッドの外表面から1mm以内の範囲に存在する水酸基濃度を、10重量ppm以下とすることを特徴としている。

【0009】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、ガラスロッドの外表面から1mm以内の範囲に存在する水酸基濃度を、1重量ppm以下とすることが好ましい。

【0010】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、出発ガラスパイプの偏肉率が全長に涉って0.3%以下であることが好ましい。

【0011】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、第1の工程で堆積させるガラス膜の厚さの合計を1mm以下とし、出発ガラスパイプと、第1の工程で堆積されたガラス膜との厚さの合計を8mm以下とすることが好ましい。

【0012】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、ガラスロッドは、コア部の楕円率が0.4%以下であり、中心軸上に発生した気泡数がガラスロッドの長さ方向10mmあたり1個以下であることが好ましい。

【0013】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、ガラスロッドは、内付け法により形成した部分の楕円率が1.5%以下であり、中心軸上に発生した気泡数が前記ガラスロッドの長さ方向10mmあたり1個以下であることが好ましい。

【0014】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、出発ガラスパイプは、フッ素が添加された石英製のパイプであることが好ましい。

【0015】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、内付け法は、MCVD法によって行い、そのときのガラス膜を堆積させる速度は0.4g/分以上であることが好ましい。

【0016】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、ガラス膜を堆積させる速度は1.0g/分以上であることが好ましい。

【0017】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、MCVD法を行う際に、加熱源として、誘導炉、抵抗炉、プラズマトーチの何れかを用いることが好ましい。

【0018】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、コラプス法を行う際に、加熱源として、誘導炉、抵抗炉、プラズマトーチの何れかを用いることが好ましい。

【0019】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、コラプス法は、ガラスパイプの最初に中実化する箇所を加熱する第1加熱工程と、第1加熱工程にて加熱した箇所から前記ガラスパイプを長さ方向に涉って加熱していく第2加熱工程とを有し、第1加熱工程におけるガラスパイプの表面温度T1を、第2加熱工程におけるガラスパイプの表面温度T2より高温とすることが好ましい。

## 【0020】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、出発ガラスパイプの内径及び外径の楕円率が1%以下であることが好ましい。

## 【0021】

また、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法において、出発ガラスパイプは、ガラス微粒子を堆積させてその後脱水焼結して作製したものであり、内部の残留水酸基が0.01重量ppm以下であることが好ましい。

## 【0022】

また、上記目的を達成することのできる本発明に係る光ファイバの製造方法は、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法によって製造された光ファイバ母材に、線引き工程を施して、光ファイバを製造することを特徴としている。

## 【0023】

また、本発明に係る光ファイバの製造方法において、線引き工程は、ガラスロッドをジャケットパイプに挿入し、ガラスロッドとジャケットパイプとを加熱して一体化させながら線引きすることが好ましい。

## 【0024】

また、本発明に係る光ファイバの製造方法において、出発ガラスパイプ及びジャケットパイプは、ガラス微粒子を堆積させてその後脱水焼結して作製したものであり、内部の残留水酸基が0.01重量ppm以下であることが好ましい。

## 【0025】

また、上記目的を達成することのできる本発明に係る光ファイバは、本発明に係る光ファイバの製造方法を用いて製造されたことを特徴としている。

## 【0026】

また、本発明に係る光ファイバにおいて、偏波モード分散が、 $0.15 \text{ (ps/km}^1\text{/}^2\text{)}$ 以下であることが好ましい。

## 【0027】

また、本発明に係る光ファイバにおいて、波長 $1.38 \mu\text{m}$ における水酸基による吸収損失が $0.2 \text{ dB/km}$ 以下であることが好ましい。

## 【発明の効果】

## 【0028】

本発明によれば、出発ガラスパイプの内側に屈折率の異なる複数のガラス膜を堆積させた後、得られたガラスパイプを中実化してガラスロッドとする工程を有する光ファイバ母材の製造方法につき、所望の屈折率分布を得るとともに水酸基による伝送損失の増加を抑制することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0029】

以下、本発明に係る、光ファイバ母材の製造方法、光ファイバの製造方法及び光ファイバの実施の形態の例を、図面を参照して説明する。

図1は、本実施の形態の光ファイバ母材の製造方法によって製造された光ファイバ母材の断面図と、その屈折率分布を示す図である。また、図2は、図1に示した光ファイバ母材（または光ファイバ）の屈折率分布を詳細に表すものである。

図1に示すように、光ファイバ母材1は、中心コア部14と、この中心コア部14の径方向外側に位置する第1ディプレスト部13と、この第1ディプレスト部13の径方向外側に位置するリング部12と、このリング部12の径方向外側に位置する第2ディプレスト部11と、第2ディプレスト部11の径方向外側に位置する外部クラッド部15とを有している。なお、光ファイバ母材1を用いて製作される光ファイバの断面形状も、図1と同様のものになる。

## 【0030】

図1及び図2に示す屈折率分布において、 $14n$ が中心コア部の領域における屈折率分布、 $13n$ が第1ディプレスト部の領域における屈折率分布、 $12n$ がリング部の領域に

における屈折率分布、11nが第2ディプレスト部の領域における屈折率分布、15nが外部クラッド部の領域における屈折率分布である。本実施形態では、中心コア部を除いた領域では屈折率分布がステップ状であるが、中心コア部では中心にディップを有する屈折率分布となっている。

また、各領域の極大または極小の屈折率は、外部クラッド部の屈折率を基準として、中心コア部の比屈折率差 $\Delta c$ と、第1ディプレスト部の比屈折率差を $\Delta d1$ と、リング部の比屈折率差を $\Delta r$ と、第2ディプレスト部の比屈折率差を $\Delta d2$ としてそれぞれ表している。

#### 【0031】

本明細書中においては、中心コア部14の極大屈折率を $Nc$ とし、第1ディプレスト部13の極小屈折率を $Nd1$ とし、リング部12の極大屈折率を $Nr$ とし、第2ディプレスト部11の極小屈折率を $Nd2$ とし、外部クラッド部15の極大屈折率を $No$ とおく。このとき、各屈折率は $Nc \geq Nr > No > Nd2 \geq Nd1$ の関係にある。つまり、本発明は、分散シフトファイバ、分散フラット分散シフトファイバ、分散補償ファイバ等の複雑な構造をもつ光ファイバを対象としている。

#### 【0032】

さらに、図2において、2cが中心コア部の外径を、2d1が第1ディプレスト部の外径を、2rがリング部の外径を、2d2が第2ディプレスト部の外径を、2oが外部クラッド部の外径を示している。

#### 【0033】

本実施形態において、中心コア部14と第1ディプレスト部13とリング部12は、第2ディプレスト部11となる出発ガラスパイプの内側に、MCVD法などの内付け法によって形成される。

ここで、光ファイバ母材1を製造する好適な方法について、図3を参照して説明する。

図3に示すように、まず、製造工程の開始（ステップSS）後、第2ディプレスト部11となる出発ガラスパイプの内側に、ガラス膜を堆積（ステップS1：第1の工程）させる。この第1の工程を行う様子の一例を、図4に示す。

#### 【0034】

図4に示すように、第2ディプレスト部11となる出発ガラスパイプ20の内側にガラス膜を堆積させるには、MCVD法を用いると良い。つまり、出発ガラスパイプ20の内側に原料ガス（ $SiCl_4$ 、 $GeCl_4$ 、酸素）やヘリウムなどを導入する一方で、出発ガラスパイプ20の外側をバーナ22などを用いて加熱し、ガラス微粒子（スス）21を堆積させて、その後ススを焼結させてガラス化させ、ガラス膜23を形成する。本実施形態では、図1に示した中心コア部14と第1ディプレスト部13とリング部12となるべきガラス膜23を形成する。つまり、原料ガス中にゲルマニウムもしくはリンまたは塩素を含ませて最初にリング部12となるべきガラス膜を形成し、次に原料ガス中にフッ素を含ませて第1ディプレスト部13となるべきガラス膜を形成する。そして再び、原料ガス中にゲルマニウムもしくはリンまたは塩素を含ませて中心コア部14となるべきガラス膜を形成する。これにより、中心コア部14と第1ディプレスト部13とリング部12と第2ディプレスト部11となるガラスパイプが得られる。

#### 【0035】

なお、出発ガラスパイプ20のガラスは、VAD法、OVD法、複数のバーナによる内付け法の何れかの方法を用いてガラス微粒子を堆積させて、その後脱水焼結して作製したものである。そして、内部の残留水酸基が0.1重量ppm以下、より好ましくは0.01重量ppm以下となるように作製されている。また、この出発ガラス20は、脱水工程で使用した塩素元素が残留している。これにより、高速合成が可能なプロセスによって低コスト化を実現しつつ、得られる光ファイバの水酸基に起因する損失量を低減することができる。

このようにして作製された出発ガラスパイプ20は、外径が20mm以上かつ150mm以下であり、肉厚が2mm以上かつ8mm以下であって、フッ素を含有する石英製のガ

ラスであることが好ましい。

このような外径の出発ガラスパイプを用いることで、大型の光ファイバ母材を製造することができる。また、肉厚をこのように薄く設定することで、パイプの内部に形成されるガラス膜の各層の境界面が滑らかになり、光ファイバとしたときの波長無依存性ロスを下げるができる。また、厚さが2 mm以上であれば、取扱いを困難にすることなく、後のコラプス時の楕円変形も防ぐことができる。

#### 【0036】

フッ素添加の石英ガラスを製造する方法としては、ガラス微粒子の堆積体の焼結時に少なくともフッ素原子又はフッ素を含む化合物を有するガスを使用することが好ましい。あるいは、ガラス微粒子の堆積体の焼結時に少なくともフッ素原子又はフッ素を含む化合物を有するガス及びヘリウムガスを使用して焼結することが好ましい。こうすれば、純粋石英の屈折率を、調整しながら減少させることができる。

また、出発ガラスパイプ20は、その軸方向において偏肉率が全長に渉って0.3%以下で、外径楕円率及び内径楕円率をそれぞれ軸方向（長さ方向）において1%以下とした。これにより、偏波モード分散（PMD）の小さい光ファイバを得やすくなる。

#### 【0037】

また、第1の工程で堆積させるガラス膜23の厚さの合計を1 mm以下とし、出発ガラスパイプ20とガラス膜23との厚さの合計を8 mm以下とすることが好ましい。形成するガラス膜の厚さの合計が1 mm未満では、実用上、例えば400 km以上の長い光ファイバを線引きできる光ファイバ母材を得ることが難しい。また、出発ガラスパイプとガラス膜との厚さの合計が8 mmを超えると、そのガラス膜堆積時における堆積面の温度が、堆積開始時と堆積終了時とで大きく異なってしまう。そのため、添加物の濃度が所望の値からずれたり、ガラス膜の厚さを均一にしたりすることが困難となる。

また、出発ガラスパイプとガラス膜とを含めたガラスの厚さが厚くなると、その内側にガラス化させるガラス膜の表面が粗くなる。例えば、出発ガラスパイプの内側に透明ガラス化させた後のガラス膜の表面の粗さは、出発ガラスパイプの厚さが5 mmの場合では10 nmであるのに対し、出発ガラスパイプの厚さが10 mmの場合では100 nmであり、大きな差がある。ガラス膜の表面が粗くなると、ファイバ化した後の伝送損失のうち、波長無依存成分（所謂B値）が大きくなる。このため、伝送損失の小さい光ファイバを作るためには、堆積させるガラス膜厚と出発ガラスパイプの厚さの合計が重要である。

#### 【0038】

ここで、上記出発ガラスパイプなどのパイプを製造する工程を説明する。この工程では、いわゆるピアシング法が用いられる。図5は、ピアシング法によってパイプを製造する工程を説明する図である。

この工程において、図5に示すように、円柱状の石英ロッド30を、この石英ロッドの外方を覆うように配されたヒータなどの加熱手段31の内部に挿入し、石英ロッド30の一方の端部（図5中左側端部）を加熱溶融する。石英ロッドは、ダイス34に挿通され、図示しない可動手段によって図5中左側に送り込まれる。すると、加熱溶融された端部における石英ロッド30の軸方向端面の中央に、窄孔治具32の頭部33が当接する。そして、石英ロッド30を送り込むとともに、頭部33が石英ロッド30の内部に潜り込み、石英ロッド30の軸方向に窄孔治具32の頭部33を貫通させることで中空円筒状の石英パイプを得ることができる。

#### 【0039】

上記窄孔治具32は、純度が99 wt %以上の炭素棒を用いることが望ましい。こうすれば、石英パイプの開孔時にFe、Cr、Niなどの金属不純物などが混入することを防止することができ、伝送帯域の損失が増加することを防止することができる。

上記のパイプの製造においては、パイプにおける開孔の内壁に含まれるガラス添加物以外の不純物濃度が1 wt ppm以下となるようにすることが好ましい。ここで、パイプにおける開孔の内壁とは、パイプの肉厚において、内周面から厚さ1 mmまでの領域を意味する。また、上記不純物濃度が10 wt ppb以下となるようにすることがより好ましい。

。なお、上記ピアシング法の窄孔治具 32 や加熱手段 31 の代わりに、刃のついたドリルなどを用いた図示しない研削方法によって石英ロッドに開孔を施してもよい。ただし、ピアシング法は研削方法に比べて高速で加工を行うことができるほか、研削によるガラス材料の損失も防ぐことができる。

#### 【0040】

また、このようにして得られたガラスパイプは、内付け前に内面に気相エッチングをすることが好ましい。こうすれば、パイプ内表面に付着している異物や OH 層等を除去することができる。

#### 【0041】

また、上記第 1 工程では、ガラス膜 23 を形成する際の内付けの速度は、堆積するガラス微粒子の堆積速度を、 $0.4 \text{ g/分}$ 以上とすることが好ましい。より好ましくは、 $1.0 \text{ g/分}$ 以上とすると良い。これにより、高速で内付けを行って製造コストの低い光ファイバを製造することができる。

#### 【0042】

また、内付け法を行う際には、加熱源として酸水素バーナ又は抵抗炉又はプラズマトーチ又は誘導炉を使用することができる。好ましくは、抵抗炉又はプラズマトーチ又は誘導炉を用いると良い。これらの無水加熱源を使用すれば、加熱する際に水分が発生することが無いため OH 基による波長  $1.38 \mu\text{m}$  における過剰吸収損失の低い光ファイバを作製することができる。さらに、内付け法における堆積速度を増加させるためには、出発ガラスパイプの内部を十分高熱に加熱することが好ましいが、そのためには出発ガラスパイプの肉厚を薄くすることが好ましい。加熱源として酸水素バーナを用いると加熱源自体が水分を発生しながら出発ガラスパイプの外周を加熱するため、出発ガラスパイプの肉厚が薄いほど OH 基吸収が大きくなってしまう。

#### 【0043】

特に、フッ素添加パイプはフッ素を含まないシリカパイプよりも OH 基を拡散させやすいため、フッ素が添加されたパイプを出発ガラスパイプとして用いる場合は、無水加熱源であることが重要であることを見出した。例えば、フッ素の添加濃度が  $0.2 \text{ wt ppm}$  であるパイプ（外径  $25 \text{ mm}$ 、内径  $17 \text{ mm}$ ）に酸水素バーナで内付けしたサンプルでは、OH 基がパイプ界面から内部に拡散した結果、光ファイバとしたときの波長  $1.38 \mu\text{m}$  における過剰損失は  $0.8 \text{ dB/km}$  となった。これに対し、出発ガラスパイプを、フッ素を含まないシリカパイプ（塩素添加濃度が  $200 \text{ wt ppm}$ ）にしたものでフッ素添加パイプで作製したものと同一光強度分布になるようにコアの外径・屈折率を調整したファイバを作製したものでは、OH 基に起因する過剰損失は  $0.5 \text{ dB/km}$  であった。

それに対し、プラズマや誘導炉熱源を用いた場合では、OH 基に起因する過剰損失はいずれの場合でも  $0.11 \text{ dB/km}$  であり、酸水素バーナで特有的に見られる OH 基の拡散を抑制し、光ファイバの OH 基の拡散が少ないことを確認することができた。

#### 【0044】

このようにして作製されたガラスパイプは、図 3 に示すように、コラプス法により中実化してガラスロッドとする（ステップ S2：第 2 の工程）。

この第 2 の工程で用いるコラプス法は、ガラスパイプの最初に中実化する箇所を加熱する第 1 加熱工程と、第 1 加熱工程にて加熱した箇所からガラスパイプを長さ方向に涉って加熱していく第 2 加熱工程とを有している。図 6 に、第 1 加熱工程の様子を示し、図 7 に、第 1 加熱工程の様子を示す。

#### 【0045】

まず、コラプスする際には、図 6 に示すように、ガラスパイプ 24 のうち、ガラスロッドとして用いる有効部の端部付近を熱源（ここでは酸水素火炎を発生するバーナ 22 を例示）により加熱して、最初に中実化する。続いて、図 7 に示すように、最初に中実化した箇所から軸方向にバーナ 22 とガラスパイプとを相対移動させて、順次中実化を行う。これにより、ガラスロッド 10（図 1 参照）が作製される。

## 【0046】

このとき、熱源として誘導炉又は抵抗炉又は酸水素火炎又はプラズマトーチを用いることができる。また、コラプスする際には誘導炉を用いることがより好ましい。誘導炉を用いることで、均熱長を短くすることが容易であり、また、全周から均等に加熱することができるため、コラプス時の中心コア部の変形を抑制することができる。

また、コラプスする際に、コラプス中のパイプ内部の絶対圧力が10 kPa以下で、コラプス中のパイプ表面温度が1000℃以上でかつ1600℃以下であることが好ましい。パイプ内部を大気より減圧することで、パイプ内部の水分の存在量を減らし、OH基による波長1.38  $\mu$ mにおける吸収損失を低減させることができる。

また、第1加熱工程におけるガラスパイプの表面温度T1を、第2加熱工程におけるガラスパイプの表面温度T2より高温とすることが好ましい。例えば、出発ガラスパイプがフッ素の添加量2 wt ppmの場合には、T1=1250℃とし、T2=1150℃とすると良い。これにより、コラプス開始時すなわちパイプの封止の際には素早く中実化するとともにその後のコラプス時には適切な速度で中実化することができる。そのため、中心コア部やガラスロッド全体の変形を抑えて、コアやクラッドの非円化を抑制し、PMDの小さい光ファイバを得ることができる。

## 【0047】

また、コラプスする際に、フッ素添加石英パイプ又は純石英パイプを出発ガラスパイプとした場合には、加熱源としてプラズマトーチ又は誘導炉又は抵抗炉を用いることが好ましい。出発ガラスパイプがフッ素添加石英パイプや純石英パイプであってもOH基がガラス表面から拡散するため、加熱源に水分が発生しない熱源を用いることが好ましい。

上述したように、内付け時やコラプス時に用いる熱源を無水加熱源とすることで、ガラスロッドの外表面から1mm以内の範囲に存在する水酸基(OH基)の濃度を、10 wt ppm(重量ppm)以下とすることができる。さらに、OH基の濃度を、1 wt ppm以下とすることもできる。また、水分吸着したガラス層の除去量を減らすことが可能である。そのため、ガラスロッドの良好な光ファイバ母材を低コストで製造することができる。

。

## 【0048】

図8は、加熱方法に対するコア楕円率(%)の関係(特性分布)を示すグラフである。誘導炉は、パイプ全周を均等に加熱することができるため、一方側からのみ加熱する酸水素バーナに比してガラスが周方向で均等に軟化するため、図8に示すように、コラプス後のコア楕円率を低減させることができる。

本発明において、コラプスを行う際には、コラプスされるガラスパイプの内部に、流量が0.1 slm(standard liter/min)以上の塩素を導入し、パイプ表面温度を800℃以上として脱水、空焼きを行うことが好ましい。こうすれば、ガラスパイプ内壁に吸着されている水分を除去することが可能である。

また、コラプス前にパイプ内面に気相エッチングをすることが好ましい。こうすれば、パイプ表面に付着している異物やOH層を除去することができる。

## 【0049】

図9は、SF<sub>6</sub>及びCl<sub>2</sub>の全ガス流量(slm)に対するSF<sub>6</sub>とCl<sub>2</sub>の混合ガスの露点(℃)並びにOH基濃度(wt ppm)の関係を示すグラフである。本図中、27Aは、SF<sub>6</sub>及びCl<sub>2</sub>の全ガス流量(slm)に対する露点(℃)の関係を示し、27Bは、SF<sub>6</sub>及びCl<sub>2</sub>の全ガス流量(slm)に対するOH基濃度(wt ppm)の関係を示している。図9に示すように、SF<sub>6</sub>及びCl<sub>2</sub>の全ガス流量(slm)を増加させることで、露点(℃)を低減させることができ、OH基濃度(wt ppm)を低減させることができる。

本発明においては、上記エッチング時には、Cl<sub>2</sub>を0.1 slm以上、かつ、SF<sub>6</sub>を50 sccm(standard cc/min)以上流し、パイプ表面温度を1500℃以上とすることが好ましい。こうすれば、パイプ表面に付着している異物やOH層を除去することができる。

## 【0050】

図3に示すように、コラプスにより得られたガラスロッドは、構造検査として外観検査及びコア楕円率測定を行い（ステップS3）、コラプス時の界面、すなわちガラスロッドの中心軸上に存在するガラスロッドの長さ方向における気泡の数が所定数（ここでは10mm当たり1個）より多く発生し、または、中心コア部の楕円率が所定値（ここでは0.4%）より大きいものについては、ファイバ化工程において気泡残存によるファイバの強度劣化などの不都合が生じると判断して（ステップS4）使用しない（ステップS5）。

またここで、内付けにより形成した部分の楕円率が所定値（ここでは1.5%）より大きいものについても、後工程において不都合が生じると判断して使用しない（ステップS5）とさらに良い。

## 【0051】

図10は、ガラスロッドのコラプス時において界面に発生した気泡の数を測定する手法を説明する図である。

図10に示すように、ガラスロッド10に対して、一方向からハロゲンランプなどの光源Lを使用して光を照射し、その際、コラプス時の界面、すなわちガラスロッド10の中心軸X上に存在する気泡Bの数を目視によって測定する。そして、ガラスロッド10の長手方向の10mm当たり1個以上気泡Bが存在する場合、その気泡Bが存在する領域Dを廃却する。

## 【0052】

図11は、ガラスロッドのコア部の楕円率（%）に対する光ファイバ母材のコア部の楕円率（%）の関係を示すグラフである。図11に示すように、コア部の楕円率が0.4%を超えるガラスロッドは、ジャケット部の形成などの高温処理工程が原因でその形状歪みが大きくなるため、後の工程においてコア部の楕円率が1.5%を超える光ファイバ母材となる可能性が極めて高い。

また、ガラスロッドのうち、出発ガラスパイプの内側に内付け法により形成した部分の楕円率を1.5%以下とすれば、光ファイバ母材のコア部の楕円率も1.5%以下としやすい。

## 【0053】

また、図12は、光ファイバ母材のコア楕円率（%）に対する光ファイバのPMDの関係を示すグラフである。図12に示すように、コア部の楕円率が1.5%を超える光ファイバ母材は、線引き工程後に得られる光ファイバのPMDが $0.15 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ を超える可能性が極めて高い。一般に、 $40 \text{ Gb} / \text{s}$ を超えるような高速の光通信にはPMDが $0.15 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ 以下の光ファイバが求められている。つまり、上記の工程のように、コア部の楕円率が0.4%以下のガラスロッドのみを用いることで、光ファイバ母材のコアの楕円率を1.5%以下とすることができ、コアの楕円率が1.5%以下の光ファイバ母材のみを用いることで、高速な光通信に適用可能で、PMDが良好な光ファイバを効率良く製造することができる。

## 【0054】

ここで、楕円率は、断面の外周形状を楕円近似したときに、最大径 $R_{\text{max}}$ 、最小径 $R_{\text{min}}$ と平均径 $R_{\text{average}}$ から、楕円率 $= (R_{\text{max}} - R_{\text{min}}) / R_{\text{average}} \times 100$ （%）で表される式によって求められる。

すなわち、楕円率が高いとファイバ化した後のPMDが高くなり、伝送信号の品質を劣化する。また、気泡がコラプスされる界面に多く含まれると、線引き工程等の後の加熱工程において気泡が膨張し、中心コア部を塞いで信号光の伝送損失が高くなったり、あるいは導波しなくなったりする。また、光ファイバにおいて気泡が多く存在する箇所では機械的強度も低下する。

## 【0055】

図3に示すように、構造検査を経たガラスロッドは、その外周を火炎研磨すると良い（ステップS6）。火炎研磨することによって、ガラスロッドの表面層を気化させて、表面の傷や歪みを除去したり、表面に付着した異物を除去したりして、高品質のガラスロッド

を得ることができる。

#### 【0056】

また、所望のコア径及び線引き径の光ファイバを作製し、設計どおりの特性を有する光ファイバを作製するには、上記ガラスロッドの外周側に、VAD法、OVD法、複数バーナによる外付け法などによってガラス微粉末を堆積、焼結させ、外部クラッド部となるジャケット部を形成してもよい。この場合、ジャケット部はファイバのコア径を調整するために使用される。ジャケット部には光ファイバ中心コアを通過する光がしみ出さないため、高速にガラスを合成する上記プロセスを適用しても光伝送損失などの特性には影響しない。そのため、低コストに大型の光ファイバ母材を製造することができ、光ファイバを低コストに作製することができる。

また、ジャケット部のガラスは、内部の残留水酸基が0.01重量ppm以下となるように作製されていると良い。

#### 【0057】

図1に示した光ファイバ母材1は、外部クラッド部（ジャケット部）15が形成されている。この光ファイバ母材1は、線引きすることによって光ファイバとすることができる。線引きする際には、光ファイバをねじりながら線引きすることが好ましい。こうすれば、線引きされた光ファイバの外径を長手方向に渉って平均化することができ、PMDを低減することができる。また、線引きする際には、光ファイバにかかる張力である線引き張力を、30g以上でかつ300g以下とすることが好ましい。これにより、製造する光ファイバ母材において、その組成に応じて線引き張力により光ファイバ内部の残存応力が変化することを抑制するため、線引き張力の調整により光ファイバ線引き後の特性変動を抑制することができる。

#### 【0058】

また、線引き後のガラス径は90 $\mu$ m以上でかつ250 $\mu$ m以下であることが好ましい。

光ファイバの径を太くすることで、マイクロベンドの影響を受けにくい光ファイバを得ることができる。

また、上述した光ファイバ母材は、中心コア部14やガラスロッド10から形成される領域が、真円に近い形状に形成されているため、その母材を用いて製造された光ファイバは、PMDを0.15ps/km<sup>1/2</sup>以下とすることができる。

さらに、光ファイバはOH基による波長1.38 $\mu$ mにおける吸収損失が0.2dB/km以下であることが好ましく、0.1dB/km以下であることがより好ましい。上述したように、無水プロセスを内付け時やコラプス時に導入することによってOH吸収損失の小さい光ファイバを製造することができる。

#### 【0059】

以上示した工程により、製造工程は終了（ステップSE）し、所望の屈折率分布を得るとともに水酸基による伝送損失が小さい光ファイバを製造することができる。

#### 【0060】

また、ガラスロッド10の外周に外部クラッド部15を設ける（ステップS7）替わりに、ジャケットパイプを用いてロッドイン線引きを行うこともできる。

ロッドイン線引きは、OVD法による外付け法によってガラス微粉末を堆積、焼結し、上記のピアシング法によって孔開けすることで作製したシリカパイプをジャケットパイプとして準備し、このジャケットパイプにガラスロッドを挿入して、ジャケットパイプとガラスロッドを加熱して一体化し、その直後に加熱することで、線引きするものである。

#### 【0061】

図13は、ジャケットパイプにガラスロッドを挿入して加熱して線引きする工程を示す模式図である。

図13に示すように、ガラスロッド10を円筒形状のジャケットパイプ40に挿通した状態でガラスロッド10及びジャケットパイプ40とともにヒータなどの加熱手段41によって加熱する。加熱手段41は、ヒータをガラスロッド10及びジャケットパイプ40

の外方に配したものであり、ヒータの内側に、該ヒータの軸方向に沿ってガラスロッド 10 及びジャケットパイプ 40 が挿入される。ヒータにおける下方端部側（図 13 の下側部分）が上方端部側（図 13 の上側部分）より高温になるように設定される。その後、ガラスロッド 10 及びジャケットパイプ 40 の下方側端部を加熱して一体化しつつ、熔融させ、下方へ張力を付与して線引きし、光ファイバ F を得る。また、線引き中において、ガラスロッド 10 及びジャケットパイプ 40 は図 13 中矢印の方向に送り込まれる。なお、上記ヒータは、抵抗体に電流を流して加熱するものであるが、その他にも導体に誘導電流を生じさせて誘導電流で加熱する誘導炉や、プラズマを用いる加熱源であってもよい。なお、加熱手段 41 としては、複数のヒータをガラスロッド 10 の軸方向（図 13 の上下方向）に並べてもよい。

このように、ジャケットパイプにガラスロッドを挿入して線引きする工程を行うことで、光ファイバ母材として上述した外部クラッド部（ジャケット部）を形成する工程を省略することができる。

なお、ジャケットパイプは、上記のジャケット部と同様に、内部の残留水酸基が 0.01 重量 ppm 以下となるように作製されていると良い。

#### 【0062】

なお、本発明は、前述した実施の形態に限定されるものではなく、適宜な変形、改良などが可能である。

例えば、上記の実施の形態は、図 1 に示したように 4 重クラッドの光ファイバ母材、あるいは 4 重クラッドの光ファイバについて述べたが、5 重クラッド、6 重クラッドとすることもできる。

#### 【0063】

以下、本発明に係る実施例について説明する。

#### 【実施例 1】

#### 【0064】

まず、上述した図 1 及び図 2 を参照して第 1 の実施例を説明する。

本実施例において得られる光ファイバ母材は、上述した製造方法により得られるものであり、外部クラッド部 15 に対する中心コア部 14 の比屈折率差  $\Delta c$  が 0.50% と、外部クラッド部 15 に対する第 1 ディプレスト部 13 の比屈折率差  $\Delta d1$  が -0.30% と、外部クラッド部 15 に対するリング部 12 の比屈折率差  $\Delta r$  が 0.27% と、外部クラッド部 15 に対する第 2 ディプレスト部 11 の比屈折率差  $\Delta d2$  が -0.15% となるように設定された。なお、中心コア部 14 の屈折率分布の形状は、中央にディップを有するものである。

また、第 1 ディプレスト部 13 の外径  $2d1$  に対する中心コア部 14 の外径  $2c$  の比  $Ra$  ( $Ra = 2c / 2d1$ ) は、0.66 であり、リング部 12 の外径  $2r$  に対する第 1 ディプレスト部 13 の外径  $2d1$  の比  $Rb$  ( $Rb = 2d1 / 2r$ ) は、0.57 であり、第 2 ディプレスト部 11 の外径  $2d2$  に対するリング部 12 の外径  $2r$  の比  $Rc$  ( $Rc = 2r / 2d2$ ) は、0.50 である。

#### 【0065】

このような光ファイバ母材を製造するには、まず、第 2 ディプレスト部 11 となる出発ガラスパイプとして、VAD 法及びピアシング法により、外径  $\phi 32$  mm、内径  $\phi 26$  mm、長さ 1900 mm である、純石英に対する比屈折率差  $\Delta d2$  が -0.15% であるフッ素添加の石英ガラスのパイプを作製した。この出発ガラスパイプは、内部の残留水酸基が 0.1 重量 ppm 以下であった。また、このパイプは、その軸方向において偏肉率の平均値が 0.3% 以下で、パイプ偏心、外径楕円率及び内径楕円率を、軸方向において平均値が 1% 以下となるようにした。

次いで、出発ガラスパイプの内側にエッチングを施した。そして、MCVD 法により、上述した比屈折率差となるべく、ゲルマニウムを含むリング部 12、フッ素を含む第 1 ディプレスト部 13、ゲルマニウムを含む中心コア部 14 となるべきガラス膜を堆積させた。その際の堆積速度は、2 g/分とした。

## 【0066】

さらに、このガラスパイプを、上述したコラプス法により中実化して、ガラスロッド10とした。コラプス後のガラスロッドの外径は $\phi 12.5\text{ mm}$ であり、楕円率は0.2%、長さは1800mmであった。このガラスロッド10に、既に説明した手順(図10参照)によって構造検査を施すと、コラプス界面において気泡がガラスロッドの長さ方向10mmに3個発生した部分があった。この気泡が発生した部分を廃却した。また、測定されたコア楕円率、コア偏心率は、長手方向で0.1%と良好であった。

また、構造検査をクリアしたガラスロッド10に対して、外周面を火炎研磨した。

## 【0067】

次いで、外部クラッド部15、いわゆるジャケット部を形成した。この外部クラッド部15は、VAD法によって純シリカをスス付けし、透明化させて形成した。すなわち、外部クラッド部15は、純石英ガラスとなるように作製した。なお、スス付けの堆積速度は、100g/分とした。

また、外部クラッド部15は、長さを1280mmとし、その外径が、ガラスロッド10の外径の2.9倍となるように作製した。さらに、外部クラッド部15を形成した後の中心コア部の楕円率は0.1%であり、外部クラッド部15の外径の楕円率は0.2%であった。

## 【0068】

このようにして得られた光ファイバ母材に、線引き工程を施すことによって光ファイバを製造した。線引き速度は1200m/分、線引き張力は50gとし、線引き直後の光ファイバを揺動させつつ線引き工程を行った。1つの光ファイバ母材から得られた光ファイバの長さは、685kmであった。このようにして得られた光ファイバの特性を調べたところ、PMDが $0.11\text{ ps/km}^{1/2}$ であった。

## 【0069】

図14は、パイプ偏肉率、コア偏心率及びコア楕円率に対するPMDの関係を示すグラフである。図14に示すように、パイプ偏肉率、コア偏心率及びコア楕円率の軸方向における平均値を1.5%以下とすれば、PMDを $0.15\text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とすることができた。

図15は、パイプ肉厚(mm)と通信波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長無依存損失成分(B値ともいう。単位は $\text{dB/km}$ とする。)との関係を示すグラフである。図15に示すように、パイプ肉厚を薄くすると、パイプ内部に形成されるガラス層の境界面の粗さを低減させることができ、本実施例のように、8mm以下とすることで、波長無依存損失成分を $0.01\text{ dB/km}$ 以下とすることができた。

本実施例によれば、PMDの低い光ファイバを得ることができた。また、大型の光ファイバ母材を高速に合成し、低コストな光ファイバ用母材を作製することができた。

図16は、遷移金属の吸収スペクトルの波長(nm)に対する伝送損失( $\text{dB/km}$ )の関係を示すグラフである。本図において、遷移金属としては、一例として原料ガス供給ラインに一般に用いられるステンレス配管の含有物である鉄(Fe)を使用した。ここで、光ファイバ中のコアを含む光が伝送する領域に鉄を10wtppm投入し、1kmあたりの伝送帯域の光の波長に対する伝送損失( $\text{dB/km}$ )を測定している。図16に示すように、Feなどの遷移金属が不純物としてパイプ内壁に混入すると、伝送帯域の損失が増加してしまう。このため、上述したように、ピアシング法によってパイプを製造する際には、純度の高い窄孔冶具を用いることでパイプ内壁における添加物以外の不純物濃度を低くすることが好ましい。

## 【実施例2】

## 【0070】

この第2の実施例では、上記第1の実施例の製造工程のうち、ガラスロッドの周囲にジャケット部を形成せず、ジャケットパイプとともにロッドイン線引きを行ったものである。ロッドイン線引きは、OH基による損失を低く抑えることができ、さらに、ジャケットパイプを高速合成により作製することで、低コストで良好な特性の光ファイバを得ること

ができる。

上記の実施の形態で説明したジャケットパイプを用いて、図13に示すようにロッドイン線引きを行った。線引きの条件は、第1の実施例と同様とした。なお、ジャケットパイプの外径は130mm、内径は31mmとした。

これにより、上記第1の実施例と同様の、良好な特性を有する光ファイバを得ることができた。例えば、波長 $1.38\mu\text{m}$ におけるOH基の吸収損失は、 $0.05\text{dB/km}$ と、低い損失値の光ファイバを作ることができた。

#### 【実施例3】

##### 【0071】

第3の実施例は、5重クラッドの光ファイバ母材及び光ファイバを示すものである。

図17は、5重クラッドファイバ用の光ファイバ母材の屈折率分布を示している。

図17の光ファイバ母材において、中心コア部51の屈折率 $N_c$ が0.5%であり、第1ディプレスト部52の屈折率 $N_{d1}$ が-0.3%であり、第1リング部53の屈折率 $N_{r1}$ が0.27%であり、第2ディプレスト部54の屈折率 $N_{d2}$ が-0.15%であり、第2リング部55の屈折率 $N_{r2}$ が0.17%であり、外部クラッド部56の屈折率 $N_o$ が0%である。つまり、 $N_c \geq N_{r1} > N_{r2} > N_o > N_{d2} > N_{d1}$ の関係が成り立つ。ここで、第1リング部53及び第2リング部55の屈折率 $N_{r1}$ 及び $N_{r2}$ は、いずれも中心コア部51の屈折率 $N_c$ より小さく、かつ、第1ディプレスト部52及び第2ディプレスト部54の屈折率 $N_{d1}$ 及び $N_{d2}$ より大きい。また、第1ディプレスト部52及び第2ディプレスト部54の屈折率 $N_{d1}$ と $N_{d2}$ はいずれも外部クラッド部56の屈折率を $N_o$ より小さい。このため、屈折率 $N_{r1}$ 及び $N_{r2}$ をとともに屈折率 $N_r$ と捉え、屈折率 $N_{d1}$ 及び $N_{d2}$ をとともに屈折率 $N_d$ と捉えたとき、各屈折率は、 $N_c \geq N_r > N_o > N_d$ の関係が成り立つ。

##### 【0072】

また、第1ディプレスト部52の外径 $52d1$ に対する中心コア部51の外径 $51c$ の比は0.6であり、第1リング部53の外径 $53r$ に対する第1ディプレスト部52の外径 $52d$ の比は0.63であり、第2ディプレスト部54の外径 $54d$ に対する第1リング部53の外径 $53r$ の比は0.61であり、第2リング部55の外径 $55r$ に対する第2ディプレスト部54の外径 $54d$ の比は0.7である。

##### 【0073】

この5重クラッドファイバ用の光ファイバ母材を製造するには、第2リング部55となる部分を出発ガラスパイプとして形成し、その内側に、第2ディプレスト部54、第1リング部53、第1ディプレスト部52、中心コア部51となるべきガラス膜を順に内付けする。そして、そのガラスパイプをコラプス法により中実化する。その他は、上記の実施の形態に記載した方法で光ファイバ母材及び光ファイバを製造することができる。

#### 【実施例4】

##### 【0074】

第4の実施例は、6重クラッドの光ファイバ母材及び光ファイバを示すものである。

図18は、6重クラッドファイバ用の光ファイバ母材の屈折率分布を示している。

図18の光ファイバ母材において、中心コア部61の屈折率 $N_c$ が0.5%であり、第1ディプレスト部62の屈折率 $N_{d1}$ が-0.3%であり、第1リング部63の屈折率 $N_{r1}$ が0.27%であり、第2ディプレスト部64の屈折率 $N_{d2}$ が-0.15%であり、第2リング部65の屈折率 $N_{r2}$ が0.17%であり、第3ディプレスト部66の屈折率 $N_{d3}$ が-0.15%であり、外部クラッド部67の屈折率 $N_o$ が0%である。つまり、 $N_c \geq N_{r1} > N_{r2} > N_o > N_{d3} = N_{d2} > N_{d1}$ の関係が成り立つ。ここで、第1リング部63及び第2リング部65の屈折率 $N_{r1}$ 及び $N_{r2}$ は、いずれも中心コア部61の屈折率 $N_c$ より小さく、かつ、外部クラッド部67の屈折率 $N_o$ より大きい。また、第1ディプレスト部62、第2ディプレスト部64及び第3ディプレスト部66の屈折率 $N_{d1}$ 、 $N_{d2}$ 及び $N_{d3}$ はいずれも外部クラッド部67の屈折率を $N_o$ より小さい。このため、屈折率 $N_{r1}$ 及び $N_{r2}$ をとともに屈折率 $N_r$ と捉え、屈折率 $N_{d1}$ 、 $N_{d2}$ 及

び  $N_d3$  をいずれも屈折率  $N_d$  と捉えたとき、各屈折率は、 $N_c \geq N_r > N_o > N_d$  の関係が成り立つ。

【0075】

また、第1ディプレスト部62の外径62dに対する中心コア部61の外径61cの比は0.6であり、第1リング部63の外径63rに対する第1ディプレスト部62の外径62dの比は0.63であり、第2ディプレスト部64の外径64dに対する第1リング部63の外径63rの比は0.61であり、第2リング部65の外径65rに対する第2ディプレスト部64の外径64dの比は0.7であり、第3ディプレスト部66の外径66dに対する第2リング部65の外径65rの比は0.77である。

【0076】

この6重クラッドファイバ用の光ファイバ母材を製造するには、第3ディプレスト部67となる部分を出発ガラスパイプとして形成し、その内側に、第2リング部65、第2ディプレスト部64、第1リング部63、第1ディプレスト部62、中心コア部61となるべきガラス膜を順に内付けする。そして、そのガラスパイプをコラプス法により中実化する。その他は、上記の実施の形態に記載した方法で光ファイバ母材及び光ファイバを製造することができる。

【0077】

このように、5重クラッドファイバ及び6重クラッドファイバに限らず、多数のクラッドを有する多重のクラッドファイバを上記光ファイバ母材の製造方法によって製造することができる。多重のクラッドファイバにおいて、ディプレスト部及びリング部がそれぞれ複数存在する場合には、各ディプレスト部の屈折率が外部クラッド層の屈折率よりも小さく、かつ、各リング部の屈折率が外部クラッド層の屈折率よりも大きいとする。このとき、中心コア部の屈折率  $N_c$ 、ディプレスト部の屈折率  $N_d$ 、リング部の屈折率  $N_r$  及び外部クラッド層の屈折率  $N_o$  は、 $N_c \geq N_r > N_o > N_d$  の関係を満たす。

上記全ての実施例において、ジャケット層のスス付け法として上記に述べた以外にもVAD/複数バーナによる外付け法を使用し、堆積したガラス微粒子を脱水・焼結することで得ることもできる。

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図1】本発明に係る光ファイバ母材の製造方法及び光ファイバの製造方法で製造される光ファイバ母材または光ファイバを示す断面図である。

【図2】光ファイバ母材における各部の径及び比屈折率差を示すグラフである。

【図3】本発明に係る光ファイバ母材の製造方法及び光ファイバの製造方法の手順を示すフローチャートである。

【図4】出発パイプの内面にリング部を形成する状態を示す説明図である。

【図5】ピアシング法によってパイプを製造する工程を説明する図である。

【図6】コラプスの開始時の状態を示す図である。

【図7】コラプスの過程の状態を示す図である。

【図8】加熱方法に対するコア楕円率の関係を示すグラフである。

【図9】 $SF_6$  及び  $Cl_2$  の全ガス流量に対する露点並びにOH基濃度の関係を示すグラフである。

【図10】ガラスロッドのコラプス界面に存在する気泡の測定を説明する図である。

【図11】ガラスロッドのコア部の楕円率と光ファイバ母材のコア楕円率との関係を示すグラフである。

【図12】光ファイバ母材のコア楕円率と光ファイバのPMDとの関係を示すグラフである。

【図13】ジャケットパイプにガラスロッドを挿入して線引きする工程を示す説明図である。

【図14】パイプ偏肉、コア偏心及びコア楕円に対するPMDの関係を示すグラフである。

【図15】 パイプ肉厚と波長無依存損失成分との関係を示すグラフである

【図16】 遷移金属の吸収スペクトルの波長に対する伝送損失の関係の一例を示すグラフである。

【図17】 5重クラッドファイバ用の光ファイバ母材の屈折率分布を示す図である。

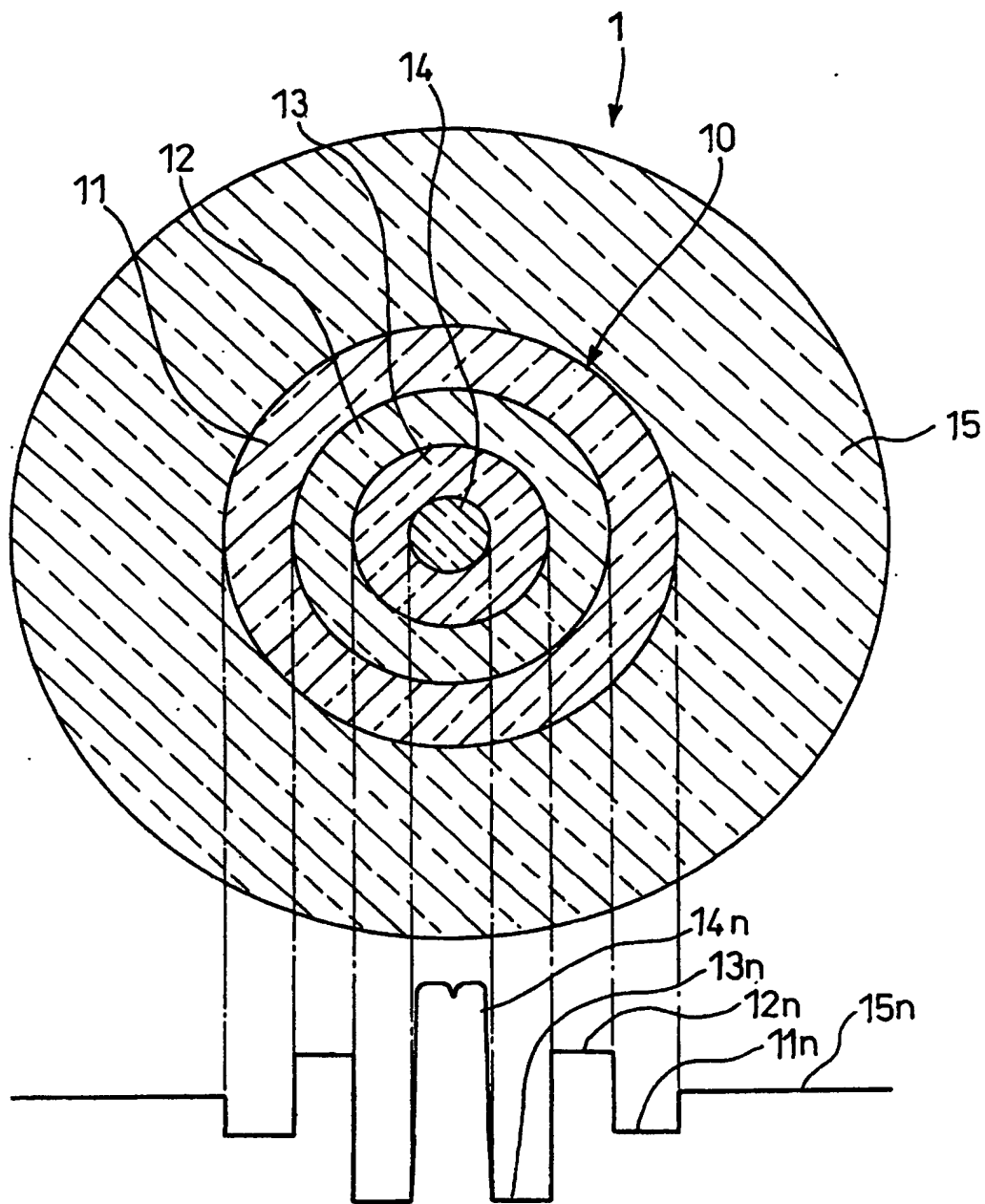
【図18】 6重クラッドファイバ用の光ファイバ母材の屈折率分布を示す図である。

【符号の説明】

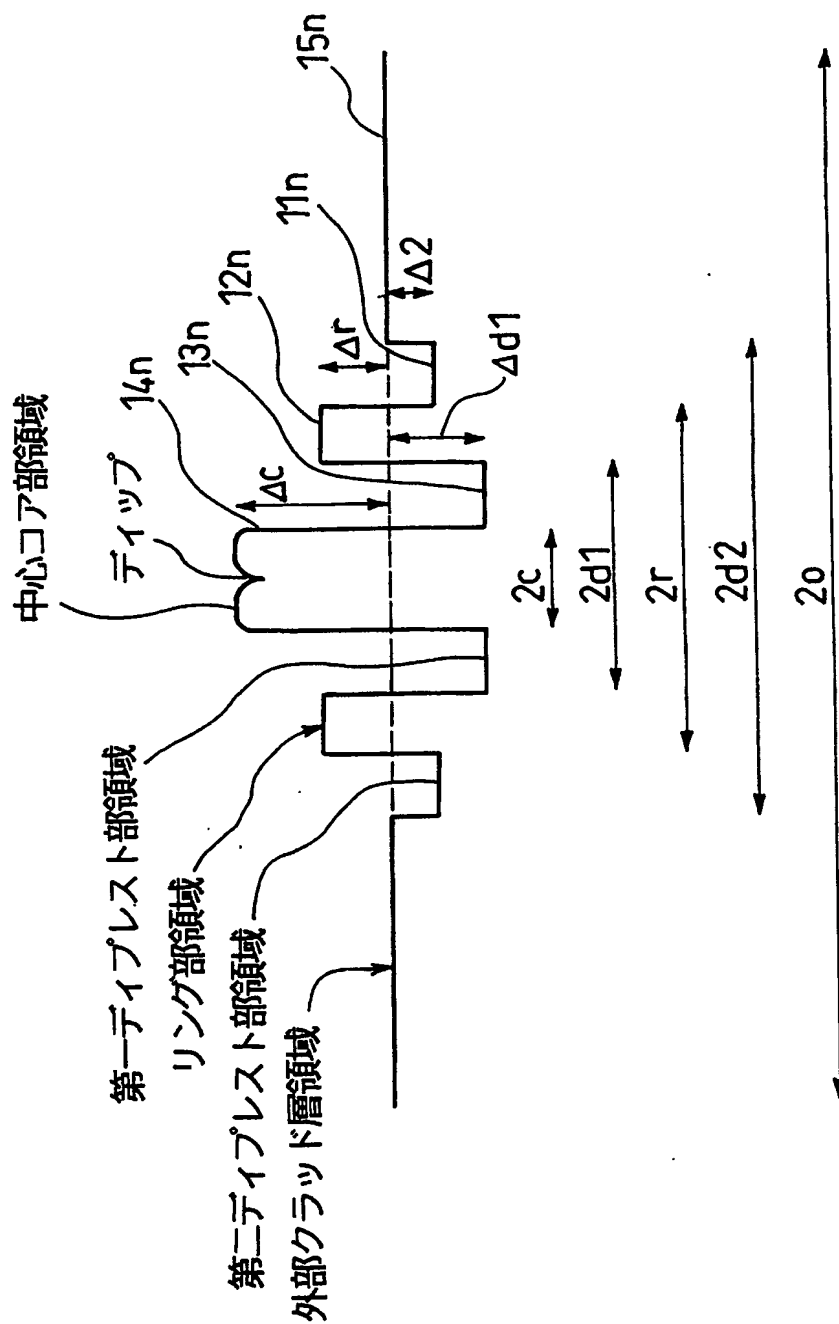
【0079】

- 1 光ファイバ母材 (光ファイバ)
- 10 ガラスロッド
- 11 第2ディプレスト部
- 12 リング部
- 13 第1ディプレスト部
- 14 中心コア部
- 15 外部クラッド部
- 20 出発ガラスパイプ
- 23 ガラス膜

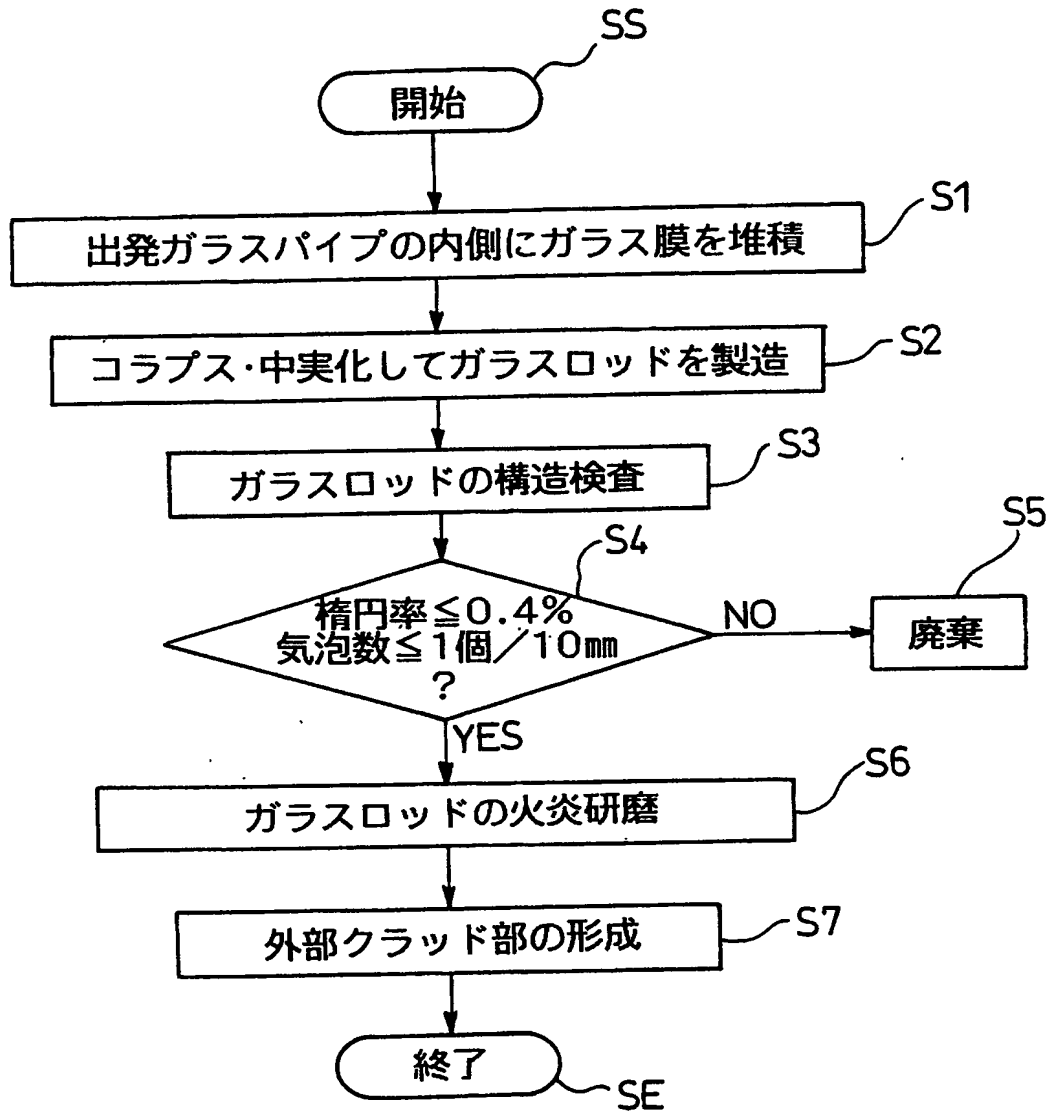
【書類名】 図面  
【図 1】



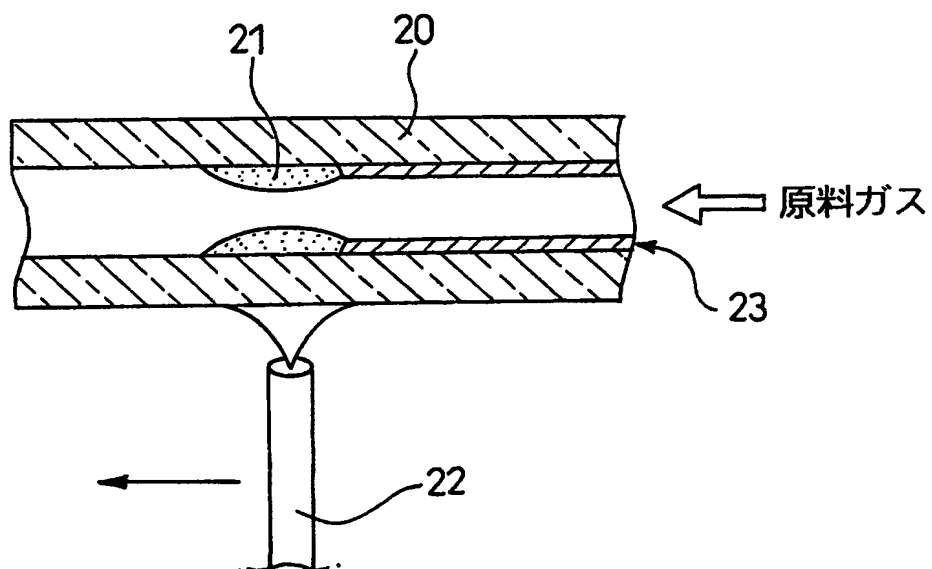
【図 2】



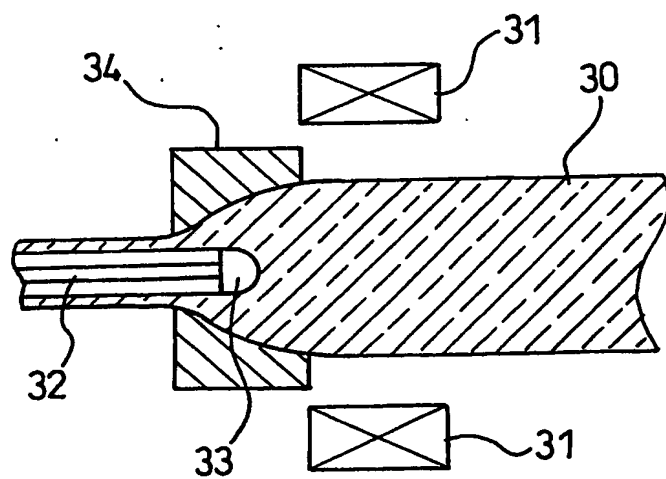
【図 3】



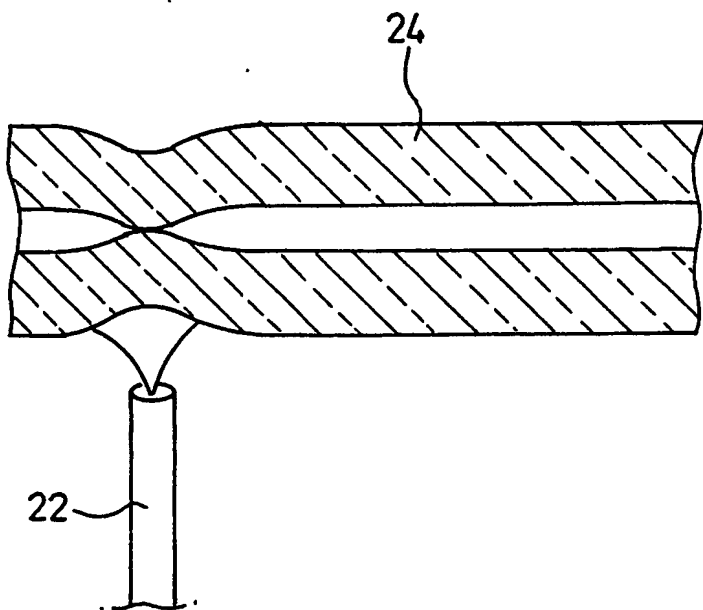
【図 4】



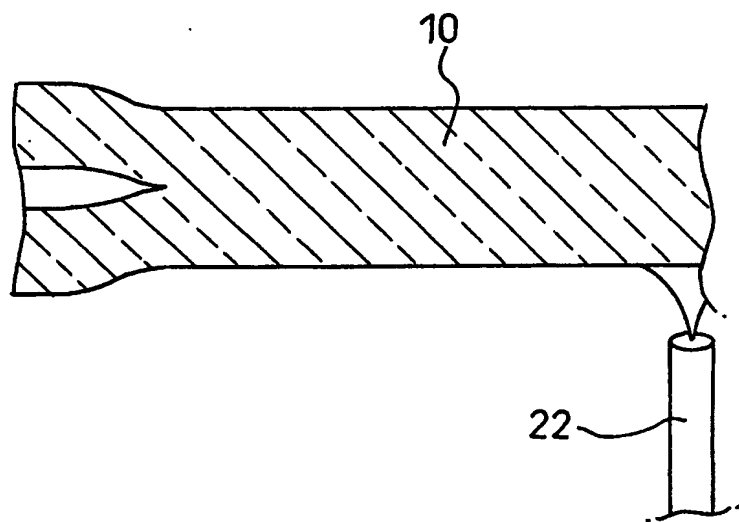
【図 5】



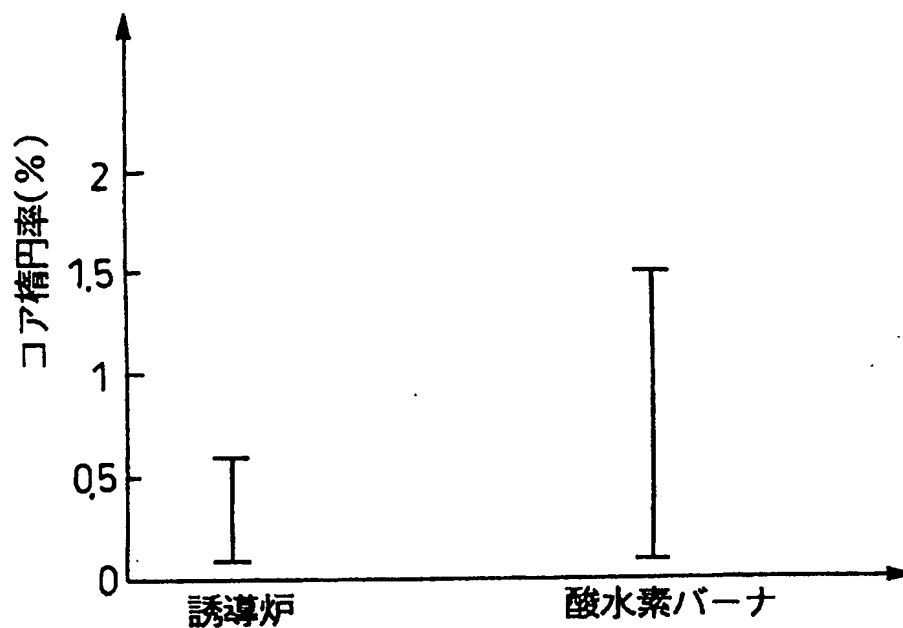
【図 6】



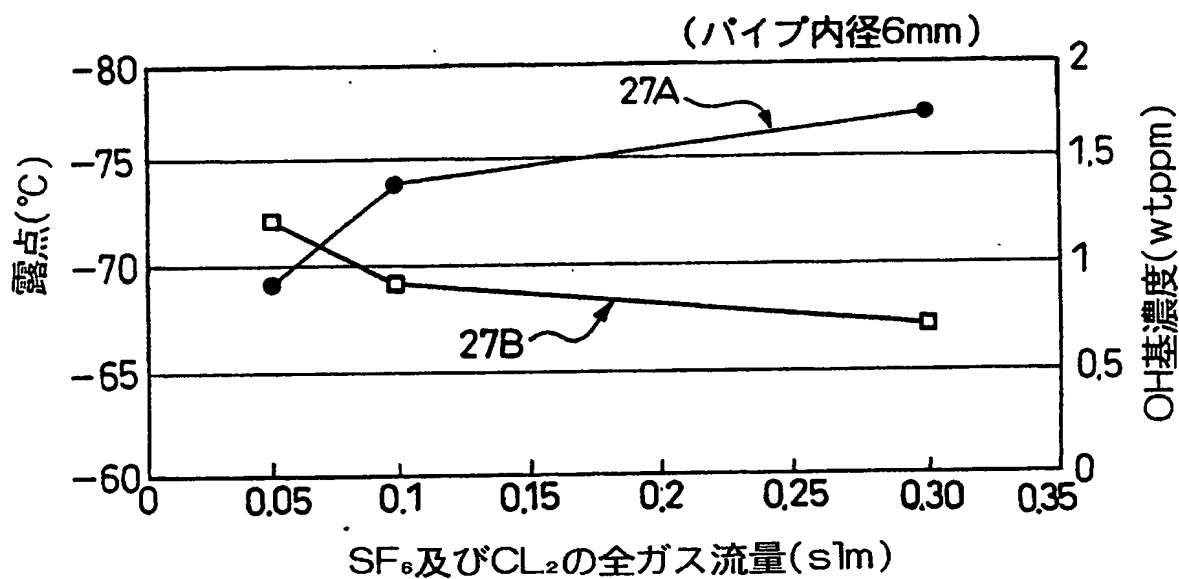
【図 7】



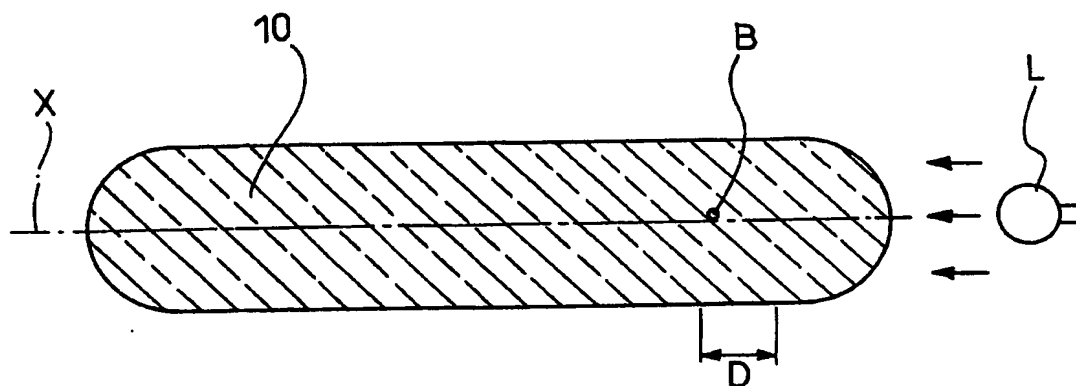
【図 8】



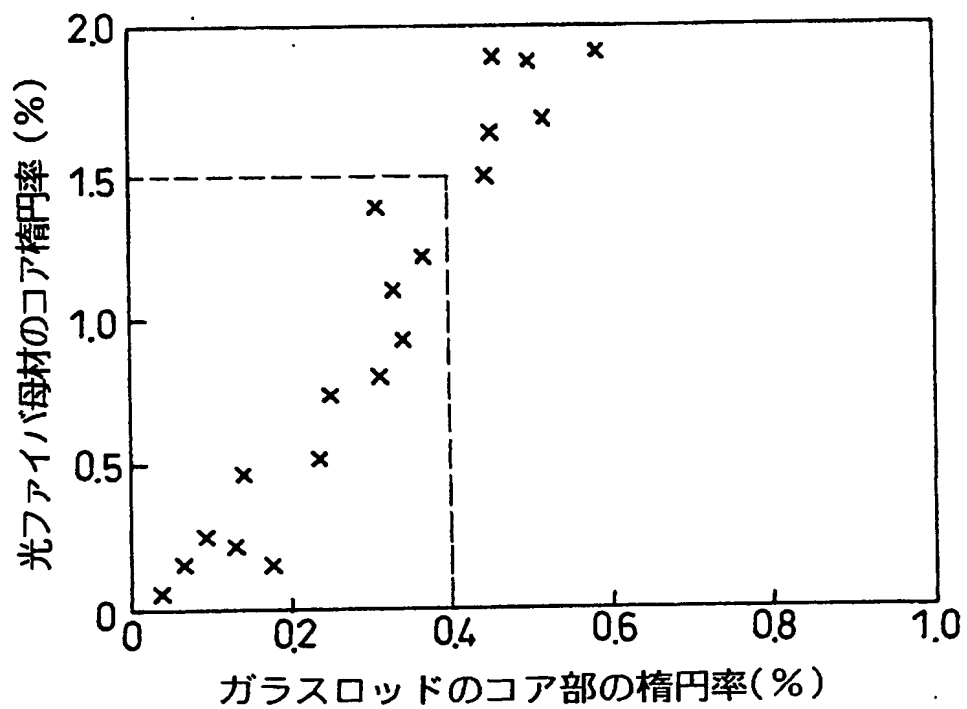
【図 9】



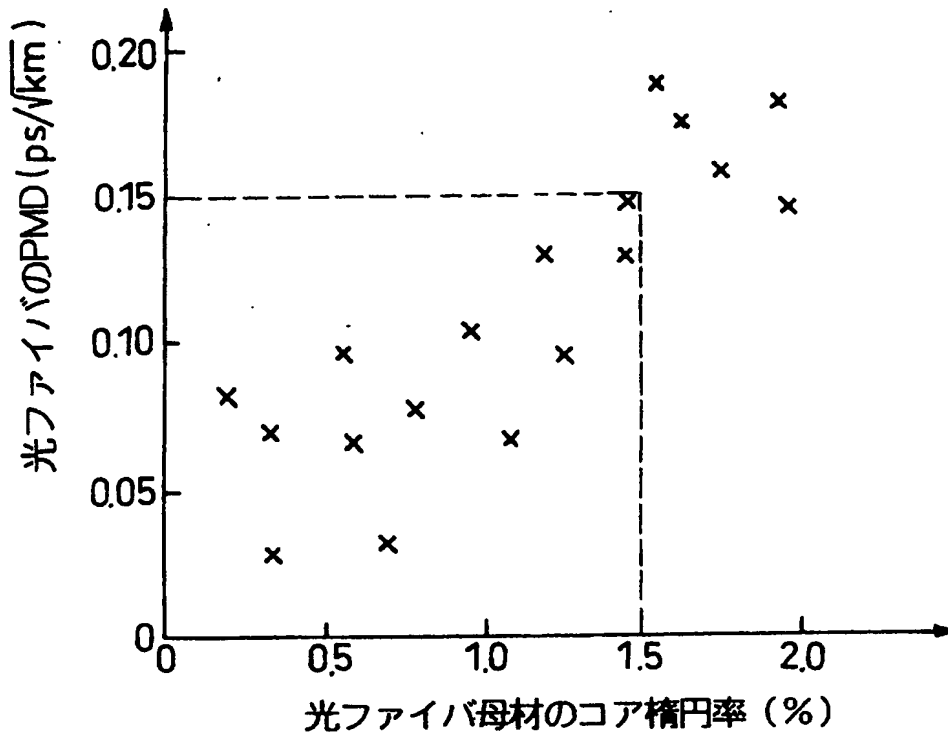
【図10】



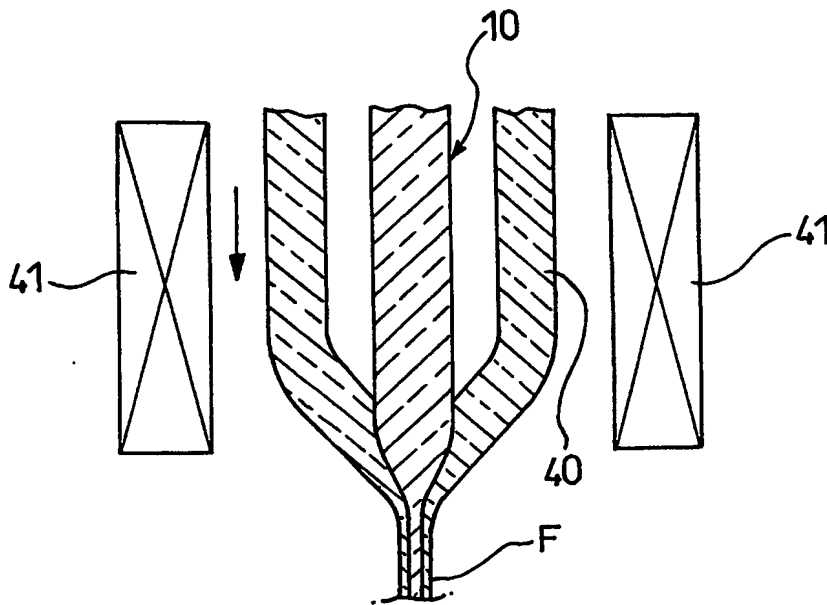
【図11】



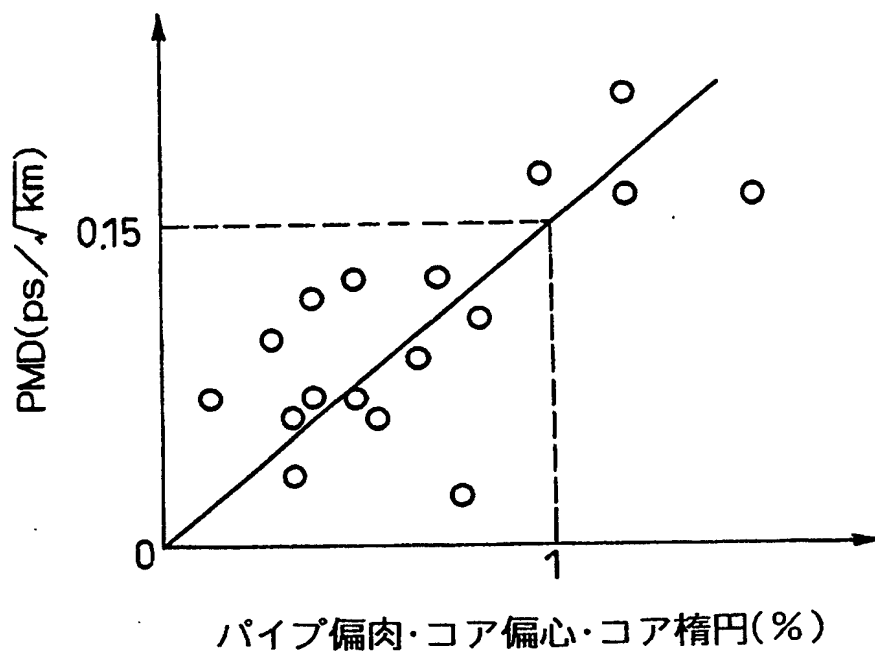
【図 12】



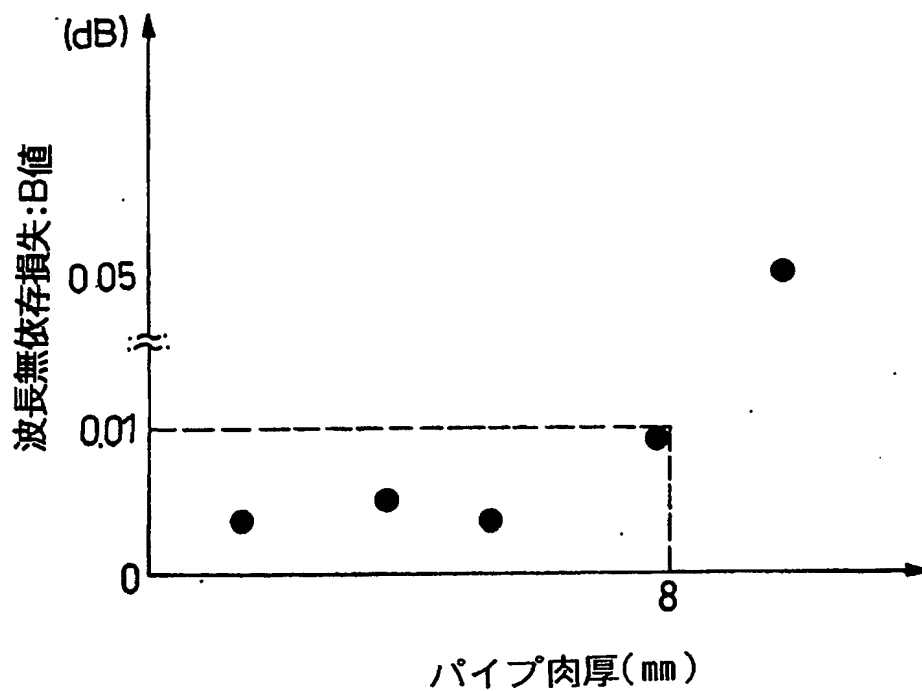
【図 13】



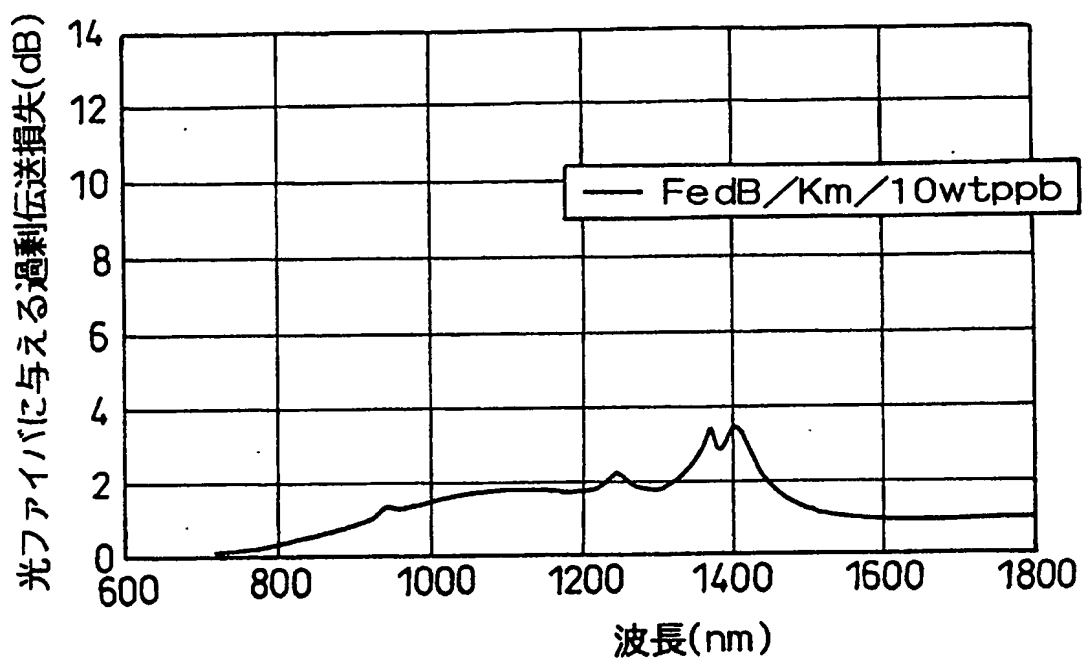
【図 14】



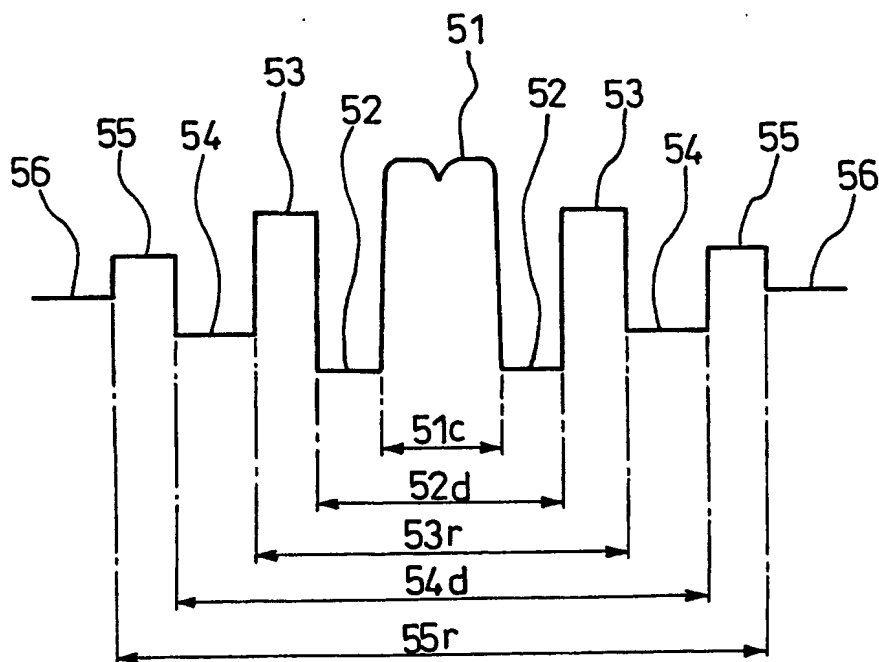
【図 15】



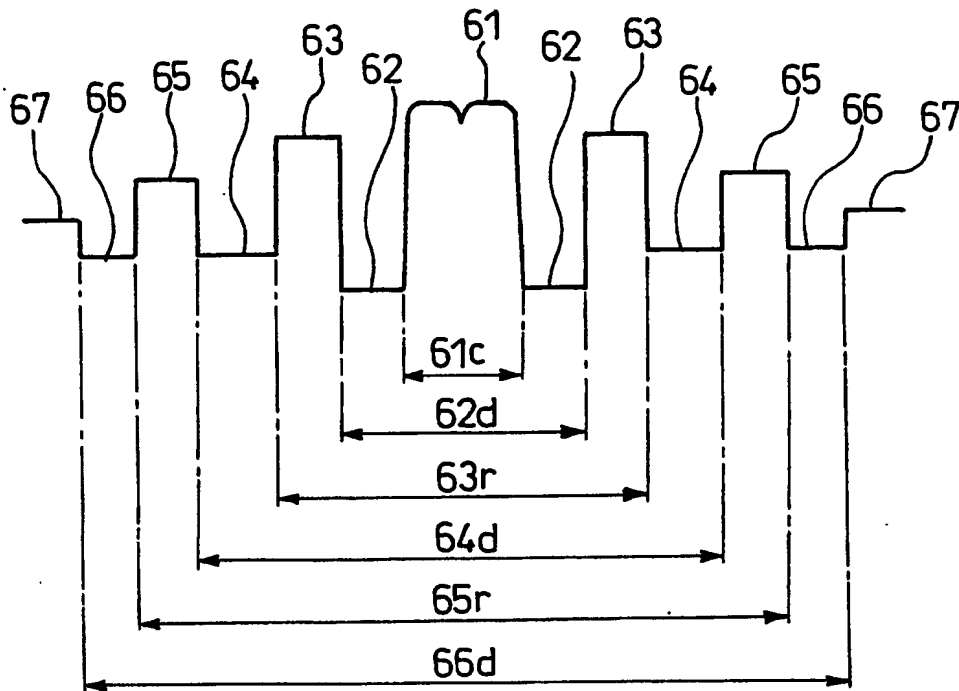
【図 16】



【図 17】



【図 18】



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 所望の屈折率分布を得るとともに水酸基による伝送損失の増加を抑制する光ファイバ母材の製造方法、光ファイバの製造方法、光ファイバを提供する。

【解決手段】 本発明に係る光ファイバ母材の製造方法は、外径が20mm以上かつ150mm以下であり、肉厚が2mm以上かつ8mm以下である、石英製の出発ガラスパイプ20の内側に、内付け法により、フッ素、ゲルマニウム、リン、塩素の何れかを含む、コア部となるガラス膜及びクラッド部となるガラス膜23を堆積させる第1の工程と、第1の工程で得られたガラスパイプをコラプス法により中実化してガラスロッド10とする第2の工程を有し、ガラスロッド10の外表面から1mm以内の範囲に存在する水酸基濃度を、10重量ppm以下とする。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-291344
受付番号	50301329936
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成15年 8月12日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年 8月11日
-------	-------------

特願 2 0 0 3 - 2 9 1 3 4 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 2 1 3 0 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中心区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名 住友電気工業株式会社